

도심지역의 지형분류를 통한 DEM의 정확도 향상

Improvement of DEM Accuracy Using by the Topography Classification in Urban Area

이현직* · 이승호** · 김정일** · 김현태***

Lee hyun-jik · Lee sung-ho · Kim jung-il · Kim hyun-tae

要 地

일반적으로 수치사진측량시스템을 통해 도심지역에서 자동으로 DEM을 추출하는 경우, 해석도화원도에서 추출하는 DEM에 비하여 정확도가 크게 저하되어 도심지역에 대한 정사투영영상 생성이나 정사투영영상을 이용한 수치지도 제작시 품질저하의 요인이 되고 있다. 따라서 본 연구는 수치사진측량기법을 이용한 도심지역 지형공간정보 생성시 정확도에 영향을 크게 미치는 도심지역 DEM의 정확도를 향상시키는데 목적이 있다.

본 논문의 수행결과, 수치사진측량기법을 이용하여 도심지역에 대한 DEM 추출시 대상지역에 대한 지형분류를 통한 DEM추출방법을 적용하여 도심지역에 대한 DEM의 정확도를 향상시킬 수 있었다.

1. 서론

21세기 정보시대는 다양하고 방대한 정보가 양산되며, 이러한 정보 중 지형공간정보에 대한 유동성은 시시각각으로 계속 변화하고 있다. 특히, 전체인구 70% 이상이 거주하고 있는 도심지역은 지형공간정보의 유동성을 나타내는 대표적인 영역으로 도심지역에 대한 다양한 지형공간정보를 신속하고 정확하게 취득하기 위해 지속적인 연구가 수행되고 있다.

일반적으로 도심지역의 지형공간정보 취득방법으로 최근에 주로 이용되는 방법은 도심지역의 항공사진영상을 이용하여 수치사진측량기법으로 해석하는 방법으로 이 과정에서 생성되는 수치표고모형(Digital Elevation model : DEM)과 정사투영영상을 통해 도심지역의 지형공간정보를 취득한다.

수치사진측량시스템을 이용한 도심지역의 지형공간정보의 정확도는 주로 대상지역의 특성에 관계없이 자동추출방법으로 생성되는 DEM의 정확도에 의해 좌우되며, 특히 도심지역에 대해 자동추출방법으로 생성되는 DEM은 도심지역에 분포되어 있는 밀집가옥이나 고층건물에서 정확도가 저하되어 정사투영영상 및 수치지도생성의 품질을 저하시키는 주요인이 된다. 따라서, 도심지역의 정확한 DEM을 생성하기 위해서는 지표면의 표고는 물론, 다양한 표고분포를 나타내는 대상지역의 각종 지물에 대한 지상높이를 알아야 하며, 특히 건물의 높이를 정확하고 경제적으로 추출하는 방법과 이러한 높이 정보가 손실되지 않고 수치표고모형을 재구성해야 한다.

일반적으로 가장 정확한 도심지역의 수치표고모형 제작방법은 해석도화원도를 이용하는 방법이나, 이 방법은 제작시간과 비용이 많이 들어 비경제적이며, 수치지도를 이용할 경우 건물의 높이를 재측량해야 하고, 또한 수치지도에 건물이 누락되어 있을 경우도 존재한다.

* 상지대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사
*** 상지대학교 토목공학과 · 석사과정

**상지대학교 토목공학과 · 공학석사

그러므로 본 논문에서는 수치사진측량시스템을 이용하여 도심지역에 대한 기존의 DEM 자동생성기법의 문제점을 파악하여 이를 개선하기 위해 지형분류를 통한 최적 DEM 생성기법과 경계선 추출방법을 이용한 도심지역의 DEM 정확도를 향상시키는 데 목적이 있다.

2. 실험대상지역 선정 및 표정수행

2.1 대상지역의 선정 및 항공사진 자료취득

본 연구의 목적이 도심지역의 정확한 DEM을 생성하는 것이므로 <그림 2-1>과 같이 도심 건물인 고층빌딩, 아파트, 밀집주택 등을 다수 포함하고 있는 경기도 과천시를 촬영한 사진축척 1:5,000 항공사진을 사용하였으며, 25번 strip의 53, 53번 사진을 입체모델로 형성하여 실험에 사용하였다. <표 2-1>은 항공사진영상의 자료 특성이다.

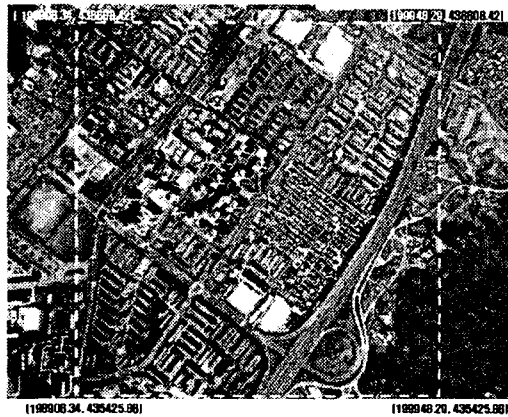


그림 2-1. 대상지역

표 2-2 항공사진영상의 자료 특성

항목		특성
대상지역		과천시
사진축척		1:5,000
촬영년도		2001년 4월
지상기준점 자료원		1:1,000 해석도화원도
항공사진	촬영 카메라	Zeiss사의 RMK A 15/23
	초점거리	153.30 mm
	필름크기	230mm×230mm
자동 독취기	자동독취기 기종	Intergraph PhotoScan TD
	자동독취기 해상도	1200 dpi (21 μ m)
	자동독취기의 위치 정확도	2 μ m 이하

2.2 항공사진영상의 표정해석

항공사진영상을 통한 DEM 생성을 위해서는 먼저 대상지역의 표정을 수행하였다.

표정해석의 첫 단계인 내부표정 (Inner Orientation)은 영상의 주점을 투영중심에 일치

시키고, 초점거리를 조정하는 과정으로 자동독취시 발생한 영상왜곡에 대한 기하학적 보정을 수행하는 것이다. <표 2-2>는 내부표정 수행 결과이다.

표 2-3 내부표정 수행 결과

Photo No.	Fiducial no.	X residual (μm)	Y residual
53	1	7.361	-0.151
	2	7.359	-0.151
	3	-7.359	0.151
	4	-7.361	0.151
	$\sigma = 10.410$		
54	1	3.944	-4.969
	2	3.943	-4.967
	3	-3.943	4.967
	4	-3.944	4.968
	$\sigma = 8.970$		

다음 과정인 외부표정은 상호표정과 절대표정으로 분류되며, 상호표정은 좌우영상에서 나오는 광속에 대하여 촬영당시 촬영면상에서 이루는 종시차(y-parallax)를 소거함으로써 완전한 입체시를 얻는 과정이다. <표 2-3>은 상호표정 수행 결과이다.

표 2-4 상호표정 수행 결과

표정점 No.	좌측 영상		우측 영상		종시차 $P_y(\mu\text{m})$
	SVx(μm)	SVy(μm)	SVx(μm)	SVy(μm)	
1	-1.0	-1.0	1.0	1.0	6.9
2	-0.3	0.3	0.3	-0.3	1.8
3	0.9	0.9	-0.9	-0.9	8.5
4	-0.8	0.8	0.8	-0.8	7.3
5	1.4	-1.4	1.4	1.4	12.4
6	1.4	-1.4	-1.4	1.4	9.8

표정의 마지막 단계로써 절대표정을 수행한다. 절대표정에서는 지상과 영상과의 상호 위치관계를 결정하기 위해 축척, 수준면, 평면위치 등을 결정하는 과정으로 수준면의 결정을 위한 최소 3점의 3차원좌표가 기지값으로 필요하며, 지상에서 미리 관측되어진 지상기준점(GCP : Ground Control Point) 좌표를 기준으로 수행되어진다. 그러나 본 연구에서는 대상지역의 지상기준점을 구할 수 없음에 따라 대상지역의 1:1,000 해석도화원도에서 총 7점을 취득하여 절대표정을 수행하였다. 절대표정결과 영상기준점좌표(ICP: Image Control Point)에 대한 지상기준점 좌표의 평균제곱근오차는 평면오차가 0.255m, 표고오차가 0.065m가 발생하였다. <표 2-4>는 지상기준점의 3차원좌표를 나타낸 것이다.

표 2-5 지상기준점의 3차원좌표

GCP No.	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	199612.696	435881.167	51.300
2	199333.243	435898.669	48.900
3	199112.070	435835.364	47.200
4	199095.096	435616.395	49.100
5	199499.557	436352.706	42.600
6	199210.476	436347.933	44.300
7	199829.864	436168.305	45.700

아래 <표 2-5>에 나타난 표정해석에 따른 정확도 분석기준에 나타난 바와 같이 실험에서의 표정은 모두 만족된 것을 알 수 있다.

표 2-6 표정해석에 따른 정확도 분석기준

		규 정				
내부표정	$\sqrt{\text{자동독취기오차}(\pm 0.47Ps)^2 + \text{포인팅오차}(0.35Ps)^2} = \pm 0.58Ps \text{ RMS}$ $= 0.58 \times 21\mu\text{m} = \pm 12.18\mu\text{m}$					
상호표정 (항공사진측량 작업내규 64조)	잔여시차가 양화필름상 0.02mm(20μm) 이내					
절대표정 (항공사진측량 작업내규 77조)	수정도화 축척	지물 및 표고점이용		기준점이용		
		평 면	표 고	평 면	표 고	
	1:1,000	0.5m 이내	0.3m 이내	0.3m 이내	0.2m 이내	
1:5,000	0.5m 이내	1.0m 이내	0.3m 이내	0.7m 이내		
DEM 및 정사투영영상(항공사 진측량 작업내규 77조)	수정도화 축척	표준편차			최대오차	
		평면오차	등고선	표고점	평면오차	등고선
	1:1,000	0.2m	0.3m	0.15m	0.4m	0.6m
1:5,000	0.2m	1.0m	0.15m	0.4m	2.0m	1.0m

3. 자동 추출된 도심지역 DEM의 문제점 분석

3.1 수치사진측량시스템을 이용한 DEM 자동추출

본 연구에서는 도심지역에 대한 DEM을 자동추출하기 위해 수치사진측량시스템인 Intergraph사의 Imagestation Z를 사용하여 표정해석을 수행하여 2장의 공액영상을 제작하였으며, 이 공액영상으로부터 상관계수법에 의한 영상정합을 통하여 DEM을 자동 추출하였다. <표 3-1>는 일반적인 DEM추출방법에 따라 3가지로 분류된 DEM 자동추출방법의 설정값을 나타낸 것이며, 본 연구에서는 DEM 자동추출방법 중 가장 일반적으로 사용되는 Type B를 적용하여 DEM을 자동추출 하여 지형분류에 따른 DEM의 분석값과 비교하였다. <그림 3-1>는 Type B로 추출된 DEM을 음영기복도로 나타낸 것이다.

표 3-1 DEM 자동추출 방법별 설정값

구 분	Type A	Type B	Type C
Grid Spacing	1m	1m	1m
Smoothing Filter	Low	Low	Low
Sigma	0.64	0.64	0.64
Adaptive Grid	No	No	No
Parallax Bound	4 pixel	8 pixel	15 pixel
Epipolar Distance	4 Row	4 Row	3 Row
Convolution Window Size	5 pixel	5 pixel	5 pixel

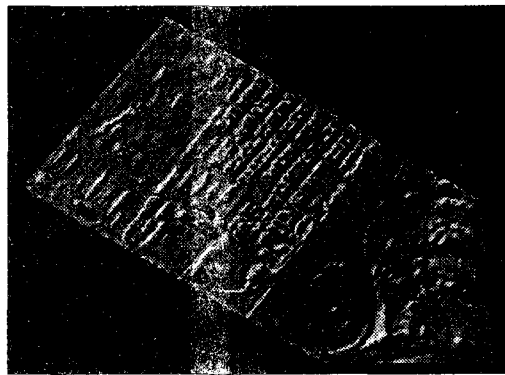


그림 3-1. 자동추출된 DEM의 음영기록도 (Type B)

3.2 자동 추출된 도심지역 DEM의 정확도 분석

DEM의 정확도 분석을 위하여 <그림3-2>와 같이 해석도화원도에서 건물과 도로를 포함하는 기타지역에서 비교영역의 레이어 30점 추출하였다. 고도값의 비교는 레이어 내의 DEM의 평균 고도값을 계산하여 해석도화원도의 고도값과 비교하는 방법을 선택하였다. <표 3-2>는 DEM의 정확도를 분석한 결과 도로를 포함하는 지형 DEM에 비해 건물 DEM이 상당히 높은 오차를 발생시켜 정확도가 크게 저하되는 것을 알 수 있다.

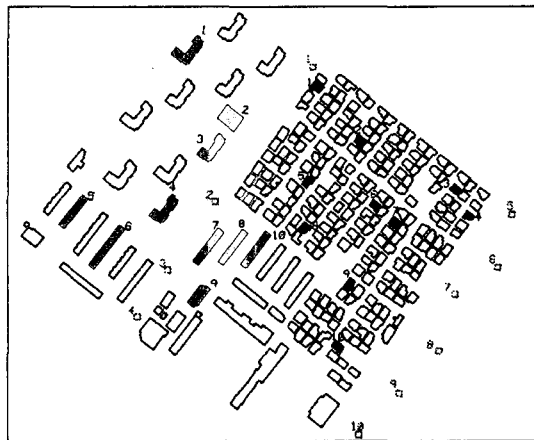


그림 3-2 DEM 정확도 분석을 위한 비교영역

표 3-2 DEM 정확도 분석

(단위 : m)

오차	대상	건물	도로
RMSE		±10.84	±0.38

<그림 3-3>에서 파선은 일반적인 DEM 자동추출방법으로 나타나는 DEM의 형상이며, 실선은 이상적인 DEM을 나타낸 것이다. 그림과 같이 이상적으로 추출되는 DEM의 형상과 실제적으로 추출되는 DEM의 형상이 다르기 때문에 DEM의 정확도가 건물영역에서 낮아지는 주요한 원인이 된다.

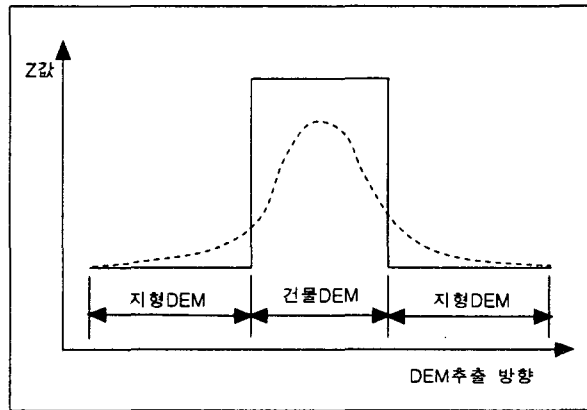


그림 3-3 자동 추출된 DEM의 특성

3.3 자동추출된 도심지역의 DEM을 이용한 정사투영영상의 정확도 분석

<표 3-2>에서 알 수 있듯이 DEM의 정확도가 건물 영역에 대하여 오차가 크게 발생하였기 때문에 <그림 3-4>와 같이 자동 추출된 DEM을 이용하여 제작된 정사투영영상의 변위가 발생하여 영상이 심하게 일그러져 있는 모습을 볼 수 있다.



그림 3-4 자동추출된 도심지역 DEM을 이용한 정사투영영상 (Type B)

자동 추출된 DEM을 이용한 정사사진을 제작하여 도화를 실시하여 <그림 3-1>의

DEM 비교 영역에 대한 위치 오차를 분석한 결과, 건물영역이 지형영역에 비해 크게 발생하였다. 여기서, 고층건물의 경우 부정확한 DEM으로 인한 변위가 크게 발생하여 평면 위치오차는 비교할 수 없었다. <표 3-3>은 건물과 도로의 평면위치 정확도를 분석한 결과값이다.

표 3-3 정사투영영상의 평면위치 정확도 분석

(단위 : m)

오차	대상	건물	도로
RMSE		±1.04	±0.6

4. 지형분류에 따른 도심지역의 최적 DEM 생성방법 결정

앞서 자동 추출된 도심지역 DEM과 이를 이용한 정사투영영상의 정확도 분석결과에서 나타낸 바와 같이 DEM 자동추출방법을 동일하게 적용시켰을 때보다는 대상지역의 특징에 맞게 지형분류를 통하여 DEM의 자동추출방법을 적용시키는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 경계선 추출을 통해 대상지역의 지형분류를 수행하여 도심지역의 지형분류별 최적 DEM 생성방법을 결정하였다.

4.1 도심지역의 지형분류를 위한 경계선 추출

일반적으로 공액영상에서 경계선 추출을 위해 사용된 경계선 추출연산자는 1차 미분 경계선 추출연산자로 Robert, Prewitt, Sobel 등의 경계선 추출연산자가 있으나, 본 논문에서 상기의 연산자를 실험해 본 결과 Sobel연산자가 본 논문에서 사용된 항공사진영상의 경계선을 가장 잘 표현할 수 있었기 때문에 Sobel 연산자를 사용하였다. <그림 4-1>은 Sobel 경계선 연산자를 통해 지형의 벡터자료를 추출하기 위한 순서를 나타낸 것이다. <그림 4-1>(b)와 같이 영역으로 처리된 영상은 다시 이진화 영상으로 변환시켜 <그림 4-1>(c)와 같이 8근방 탐색법에 의하여 벡터화하여 대상지역에 대한 Feature별 벡터를 추출하였다.

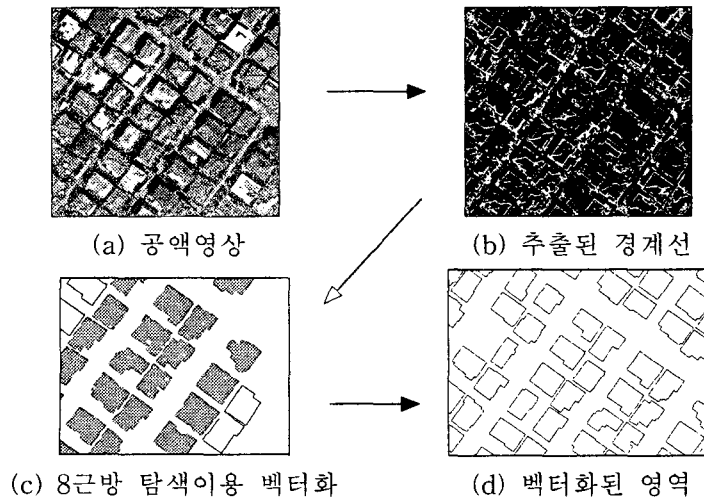


그림 4-1 경계선 추출 과정

본 연구에서는 경계선 추출연산자에 의해 추출된 벡터를 이용하여 건물에 대해 시차공식을 적용, 비행고도 대비 건물의 높이가 $\frac{1}{30}$ 이상인 경우는 고층건물로 그 이하의 범위는 밀집가옥으로 분류를 하였으며, 도심지역의 건물을 제외한 나머지 범위에서는 기타지역으로 분류하였고, 자연지형에 대해서는 산악지형으로 분류하였다. <그림 4-2>는 대상지역을 밀집가옥지역, 고층건물지역, 산악지역, 그리고 기타지역으로 분류한 그림이다.

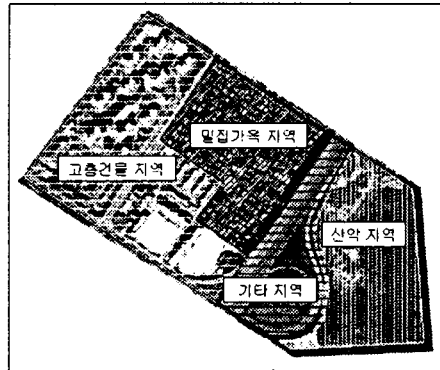


그림 4-2 대상지역의 지형분류

4.2 지형별 DEM 추출방법 도출

4.2.1 산악지형부분

세분화된 대상지역 중 산악지역은 DEM 자동추출 모듈인 ISMT를 이용하여 각각의 DEM을 자동으로 추출한 다음, 등고선을 생성하여 등고선의 정확도를 분석하였다. 그 결과 <그림 4-3>과 같으며, 해석도화원도를 기준으로 각 등고선간의 거리를 비교한 결과, 실험에 사용된 DEM 추출 3개의 방법 모두 항공사진측량 작업내규 77조의 기준인 $\pm 0.3m$ 를 모두 만족하였다. 그 중에서 1:1,000 수치지도의 등고선 정확도 오차가 가장 작은 Type C를 이용하여 산악지형의 DEM을 추출하였다. <표 4-1>은 등고선의 정확도를 분석한 값이다.

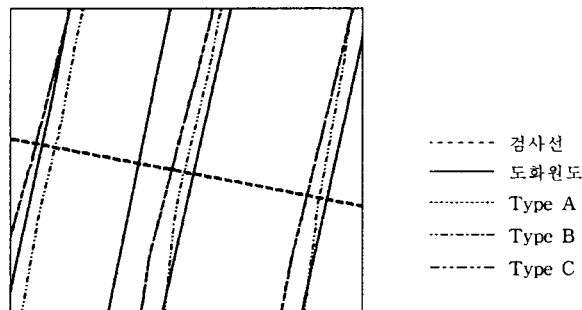


그림 4-3 산악지형의 등고선 정확도 비교

표 4-1 산악지형의 등고선 정확도

(단위 : m)

대상 오차	도화원도-Type A	도화원도-Type B	도화원도-Type C	등고선 정확도기준
RMSE	± 0.18	± 0.16	± 0.11	± 0.33

4.2.2 밀집가옥부분

밀집가옥에 대한 DEM의 정확도를 해석도화원도와 비교한 결과, Type A는 $\pm 1.38\text{m}$, Type B는 $\pm 1.23\text{m}$, Type C는 $\pm 1.29\text{m}$ 발생하여 3방법 모두에서 1:1,000 수치지도의 표고정확도기준을 초과함에 따라 본 연구에서는 밀집가옥부분에 대해 경계선 추출방법에 의해 생성된 밀집가옥의 레이어를 Breakline으로 선정하여 DEM을 재생성하였다. 이와 같이 생성된 밀집가옥부분의 DEM 정확도는 <표 4-2>와 같이 $\pm 0.46\text{m}$ 로 나타나 1:1,000 수치지도의 표고정확도기준에 기준에 근접하였다.

표 4-2 밀집가옥의 DEM 정확도 분석

(단위 : m)

오차 \ 대상	도화원도-Type B	도화원도-Breakline
RMSE	± 1.23	± 0.46

4.2.3 고층건물부분

고층건물의 경우는 밀집가옥부분과 같이 경계선을 Breakline으로 적용하여도 DEM의 정확도가 향상되지 않아 좌,우 공액영상에서 추출된 경계선을 이용하여 시차차를 구하여 시차공식을 적용하여 각 건물의 고도값을 계산하였다. 계산된 고도값을 추출된 레이어에 적용하여 고층건물 DEM을 생성하였다. <표 4-3>은 자동 추출된 DEM과 시차공식을 적용하여 생성된 DEM정확도를 분석한 결과 고층건물에 대한 DEM의 정확도가 크게 향상된 것을 알 수 있었다.

표 4-3 고층건물의 DEM 정확도 분석

(단위 : m)

오차 \ 대상	도화원도-Type B	도화원도-시차공식
RMSE	± 20.44	± 0.28

4.2.4 기타지역부분

도로를 포함하는 기타지역의 경우는 DEM 분석 결과 <표 4-4>와 같이 Type A, Type B가 가장 작은 오차를 발생하여 Type A를 사용하였다.

표 4-4 기타지역의 DEM 정확도 분석

(단위 : m)

오차 \ 대상	도화원도-Type A	도화원도-Type B	도화원도-Type C
RMSE	± 0.33	± 0.33	± 0.42

4.2.5 지형분류에 따라 생성된 최종 DEM 정확도 분석

지형별로 결정된 최적 DEM 추출 방법을 이용하여 생성된 최종적인 DEM은 <그림 4-4>와 같으며, <표 4-5>는 DEM 자동 추출방법 중 Type B와 최종 생성된 수정DEM의 평균 RMSE를 비교한 것이다.

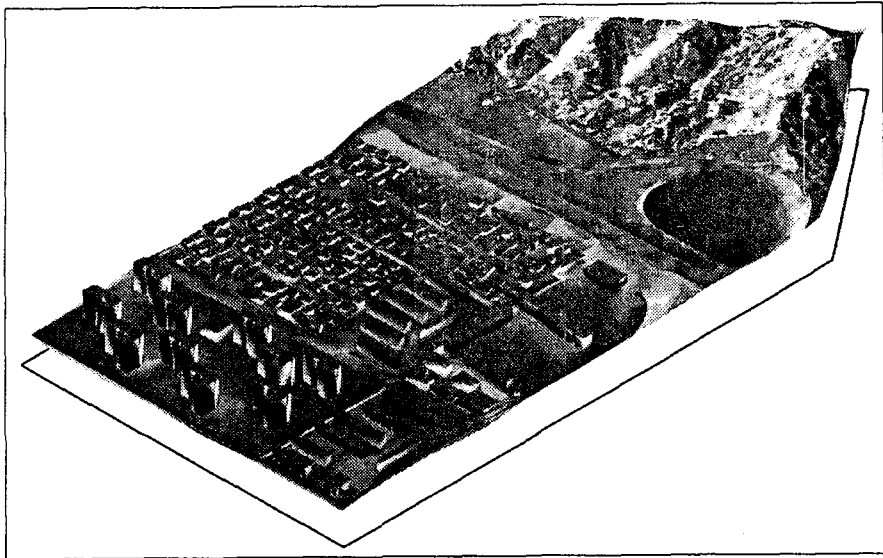


그림 4.4 최종 생성된 DEM

표 4-5 자동 추출 DEM과 본 연구에서 제안한 수정DEM의 정확도 비교

(단위 : m)

오차	대상	자동추출 DEM	수정 DEM
RMSE		± 5.54	± 0.30

5. 수정 DEM을 이용한 정사투영영상의 수평위치 정확도 분석

<그림 5-1>은 지형분류를 통해 수정된 DEM을 이용하여 수치미분편위 수정을 통해 제작된 정사투영영상이다. 수정 DEM을 이용한 정사투영영상과 자동으로 추출된 DEM(Type B)을 이용한 정사투영영상과 비교를 해보면 효과적으로 기복변위가 제거됨을 알 수 있다.



그림 5-1 수정 DEM을 이용한 정사투영영상

이와 같이 본 연구에서 제안한 지형분류에 따른 수정 DEM을 통해 생성된 정사투영영상을 이용하여 수치도화를 실시하여 수평위치 정확도를 분석하였다. 수치도화된 결과는 해석도화원도와 비교하여 평면위치에 대한 상대오차를 분석하였으며, 그 결과는 <표 5-1>, <표 5-2>, <표 5-3>과 같다.

결과값 분석결과 수정 DEM을 이용하여 제작된 정사투영영상의 위치 정확도가 자동 추출 DEM을 통한 정사투영영상에 비해 모든 지형에서 평면위치 정확도가 향상되었으며, 1:1,000 수치지도의 수평위치 정확도 기준에 근접함을 알 수 있었다.

표 5-1 고층건물의 위치 정확도 분석

(단위 : m)

오차 \ 대상	도화원도-자동추출 DEM	도화원도-수정 DEM
RMSE	비교 불능	± 0.62

표 5-2 밀집가옥의 위치 정확도 분석

(단위 : m)

오차 \ 대상	도화원도-자동추출 DEM	도화원도-수정 DEM
RMSE	± 1.04	± 0.51

표 5-3 기타지역의 위치 정확도 분석

(단위 : m)

오차 \ 대상	도화원도-자동추출 DEM	도화원도-수정 DEM
RMSE	± 0.60	± 0.23

6. 결론

본 논문의 실험결과, 지형분류에 따른 자동추출 DEM과 일반적인 DEM 자동추출 방법을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. 대상지역에 맞는 지형분류를 통한 적합한 DEM 추출기법을 적용하여 DEM의 정확도를 분석한 결과, 해석도화원도와 비교하였을 때, 가장 일반적인 방법인 Type B는 ±5.54m, 수정된 방법의 경우 ±0.30m로 DEM 정확도가 매우 향상되었다.

2. 건물영역은 자동으로 추출되는 DEM의 특성상 건물과 일반지형의 경계설정의 어려움으로 Breakline을 설정하여 DEM을 생성하여야 하며, 본 논문에서는 공액영상에서 경계선 추출연산자를 통한 경계선을 벡터화하여 Breakline으로 사용함으로써 효과적으로 건물 및 지형 DEM의 정확도를 향상시킬 수 있었다.

3. 자동 추출되어진 DEM을 이용하여 제작된 수치투영영상은 기복변위로 인하여 영상의 일그러짐 현상이 발생하였으나, 실험을 통하여 수정된 DEM을 이용하여 제작된 정사투영영상의 경우 기복변위가 제거되어 영상의 왜곡이 발생하지 않았다.

4. 본 연구에서 제안한 수정 DEM을 통해 제작된 정사투영영상을 이용하여 수치지도 제작을 수행하여 해석도화원도와 수평위치 오차를 분석한 결과, 모든 지형에서 수평위치 오차가 향상되어 1:1,000수치지도 제작에 활용할 수 있음을 알 수 있었다.

7. 참고문헌

1. 국립지리원, "항공사진의 자동독취에 관한 최적화 방안에 대한 연구", 국립지리원, 1998.
2. 국립지리원, "수치지도 위치 정확도에 관한 연구", 국립지리원 1998.
3. 국립지리원, "수치지도 정확도 제고를 위한 수정/갱신 방안에 관한 연구", 국립지리원, 1999.
4. 박경식, "수치정사투영영상을 기반으로 한 수치지도제작 방법", 충북대학교 대학원 박사학위논문, 2001.
5. 유복모, Toni Schenk, "현대 디지털사진측량학", 문운당, 2002.
6. 유복모, 김의명, 송영선, 김태균, "특징점 정합에 의한 수치고도모형생성", 대한토목학회학술발표논문집, No.4, 1999.
7. 유환희, 손덕재, 김성우, "건물 DEM 생성을 위한 경계검출법 개발", 한국측량학회지, 제17권 제4호, 1999.
8. 이현직, 정수, 이승호, "수치사진측량시스템 환경에서의 수치지도 수정 및 갱신", 한국측량학회지, 제17권 제4호, 1999.
9. 이현직, 구대성, "수치사진측량에서 수치영상의 최적해상도에 관한 연구", Journal of Production Technology, Vol. 8, 2000.
10. Parker, J.R., Wiley, "Algorithms for Image Processing and Computer Vision", 1997.
11. Noronha,S., Nevatia,E., "Detection and Modeling of Buildings from Multiple Aerial Images", Institute for Robotics and Intelligent Systems University of Southern California Los Angeles, 2000.
12. Stilla,U., Jurkiewicz,K., "Structural 3D-Analysis of Urban Scenes from Aerial Images", XVIIIth ISPRS congress, 1996.